

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 507**

51 Int. Cl.:

**F17C 9/04** (2006.01)

**F17C 5/06** (2006.01)

**F17C 9/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2010 E 10770917 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 2627940**

54 Título: **Dispositivo de bombeo híbrido**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.10.2015**

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)**  
**7201 Hamilton Boulevard**  
**Allentown, PA 18195, US**

72 Inventor/es:

**STREET, JOHN CHARLES y**  
**DAVIS, PAUL MARTIN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 548 507 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo de bombeo híbrido

## 5 ANTECEDENTES

Los dispositivos de bombeo son equipos portátiles diseñados para suministrar un líquido criogénico tal como nitrógeno, por ejemplo, para aplicaciones temporales industriales y en campos petrolíferos. Los dispositivos de bombeo transfieren nitrógeno, por ejemplo, típicamente con una bomba de alta presión de desplazamiento positivo, a través de un vaporizador integrado hasta una tubería, pozo, u otro punto de uso de un cliente. Los dispositivos de bombeo utilizan un motor diésel integrado para accionar la bomba y bombas hidráulicas para circuitos auxiliares.

El nitrógeno se suministra y se almacena en un estado líquido criogénico, y debe ser vaporizado para pasarlo al estado gaseoso y entibiado para ser usado en la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, muchos materiales habituales se vuelven frágiles si se exponen a temperaturas criogénicas. Por lo tanto, el nitrógeno debe ser entibiado, antes de su uso, para impedir fallos o agrietamientos no deseados. El diseño original de los dispositivos de bombeo utilizaba un vaporizador de combustión directa para vaporizar y entibiar el nitrógeno.

Los dispositivos de bombeo que comprenden vaporizadores de combustión directa incluyen un quemador de combustible líquido con aire forzado y un intercambiador de calor para transmitir calor desde el gas de combustión a una corriente de nitrógeno. Los vaporizadores de combustión directa ponen en contacto gas de combustión caliente directamente con una batería de tubos de alta presión que contienen al fluido criogénico.

En los dispositivos de bombeo también se puede utilizar un vaporizador de combustión indirecta menos habitual. Los vaporizadores de combustión indirecta menos habituales se diferencian de los vaporizadores de combustión directa en que se utiliza un fluido de transmisión de calor intermedio, típicamente una corriente de agua-etilenglicol, que se hace circular para transmitir calor desde el gas de combustión a una batería de tubos intercambiadores de calor de alta presión más pequeña que contienen al fluido criogénico.

Tanto los vaporizadores de combustión directa como los vaporizadores de combustión indirecta utilizados en los dispositivos de bombeo son relativamente sencillos y proporcionan grandes tasas de intercambio de calor en una unidad compacta; sin embargo, ambas unidades son muy ineficientes en términos de consumo de combustible. Además, como resultado de los costes crecientes del combustible, ambas unidades tienen un coste de funcionamiento relativo muy elevado. Por último, no se puede utilizar ninguna de las dos unidades en algunas zonas en las que hay restricciones establecidas a la llama abierta.

A modo de ejemplo, el documento US 2006/0260331 A1 describe una unidad de bombeo de alta capacidad para un gas licuado, tal como por ejemplo el nitrógeno, que utiliza vaporizadores de combustión. La unidad de bombeo comprende sistemas de bombeo primero y segundo situados en paralelo y con orientaciones contrarias. Cada sistema de bombeo comprende un motor, al menos una bomba, y un sistema de vaporización que comprende al menos un intercambiador de calor de combustión por quemador. A la(s) bomba(s), las cuales son accionadas por el motor, se les suministra nitrógeno licuado, y dicha(s) bomba(s) producen nitrógeno licuado presurizado que, a continuación, es vaporizado por el sistema de vaporización para proporcionar un gas vaporizado y comprimido. El primer sistema de bombeo comprende dos bombas, estando cada bomba conectada a su propio intercambiador de calor de combustión por quemador, estando los dos intercambiadores de calor situados preferiblemente uno encima del otro de manera que se pueda transmitir calor entre los intercambiadores de calor apilados, ayudando de ese modo a retener el calor. El segundo sistema de bombeo comprende una única bomba y un intercambiador de calor de combustión por quemador asociado.

Por diversas razones, que incluyen, pero que no están limitadas a, la eliminación de condiciones de llama abierta para trabajos en lugares con atmósferas potencialmente inflamables y un menor consumo de combustible, los dispositivos de bombeo se adaptaron para utilizar vaporizadores sin combustión. Un dispositivo de bombeo dotado de un vaporizador sin combustión, también denominado dispositivo de bombeo de recuperación de calor, carga a su motor diésel por encima de la salida de potencia requerida para la bomba de nitrógeno de alta presión de desplazamiento positivo y captura el calor procedente del refrigerante del motor y del sistema hidráulico. Los dispositivos de bombeo de recuperación de calor que utilizan un circuito de freno hidráulico para cargar al motor también pueden capturar calor procedente de ese circuito. A menudo, el calor también es capturado procedente del gas de escape del motor y de los circuitos del aire de salida del turbo del motor, y a veces también de otras fuentes de calor más pequeñas. Los dispositivos de bombeo de recuperación de calor necesitan una bomba de circulación de refrigerante para hacer circular una mezcla de agua-etilenglicol a fin de transmitir calor desde todas las fuentes de calor enumeradas anteriormente a un vaporizador del refrigerante, el cual alberga a la batería de tubos de intercambio de calor de nitrógeno a alta presión dentro de un recipiente de refrigerante presurizado.

Típicamente, los dispositivos de bombeo de recuperación de calor tienen mejor eficiencia en términos de consumo de combustible que los dispositivos de bombeo con un vaporizador de combustión, pero para un tamaño de unidad dado, los dispositivos de bombeo de recuperación de calor proporcionan por lo general aproximadamente la mitad

de la capacidad de nitrógeno que una unidad de combustión directa. Además, los dispositivos de bombeo de recuperación de calor están limitados a suministrar nitrógeno a temperaturas de descarga de alrededor de 300 °F (149 °C) y a caudales de suministro de nitrógeno relativamente pequeños. En contraste con esto, un dispositivo de bombeo de combustión directa es capaz de suministrar nitrógeno a grandes caudales de descarga o a temperaturas de alrededor de 600 °F (316 °C), lo cual es deseable para ciertas aplicaciones industriales que utilizan nitrógeno como medio de calentamiento.

Como consecuencia de las desventajas de los dispositivos de bombeo que utilizan vaporizadores de combustión y vaporizadores sin combustión, la tecnología se combinaba. Las tecnologías de vaporizador de combustión y de vaporizador sin combustión se combinaban en paralelo para formar una unidad de bombeo dual. La unidad de bombeo dual puede utilizar el vaporizador de combustión o el vaporizador sin combustión a discreción de la persona que opera el equipo. El vaporizador sin combustión es preferible debido a su menor consumo de combustible y necesario en los casos en que la llama abierta del vaporizador de combustión es un riesgo potencial, pero el vaporizador de combustión se puede utilizar cuando el caudal deseado de descarga de nitrógeno o la temperatura deseada están por encima de la capacidad del vaporizador sin combustión.

Existe una necesidad en la técnica de una unidad de bombeo que sea más eficiente en términos de consumo de combustible que los vaporizadores de combustión directa convencionales en todas las condiciones de funcionamiento, que sea capaz de proporcionar altas temperaturas de descarga de hasta 600 °F (316 °C), que sea capaz de descargar grandes caudales de hasta 500.000 pies cúbicos por hora medidos en condiciones estándar (14.158 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) a temperatura ambiente, y que se pueda operar de una manera eficiente.

#### SUMARIO

Las realizaciones descritas satisfacen la necesidad existente en la técnica al proporcionar una unidad de bombeo híbrida que es más eficiente en términos de consumo de combustible que los vaporizadores de combustión directa en todas las condiciones de funcionamiento, que es capaz de proporcionar altas temperaturas de descarga de hasta 600 °F (316 °C), que es capaz de descargar altos caudales de hasta 500.000 pies cúbicos por hora medidos en condiciones estándar (14.158 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) a temperatura ambiente, y que se puede operar de una manera muy eficiente.

En una realización se describe un dispositivo de bombeo, que comprende: una fuente criogénica para proporcionar un fluido criogénico para vaporización; una bomba criogénica en comunicación de flujo fluido con la fuente criogénica para incrementar la presión del fluido criogénico; un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión en comunicación de flujo fluido con la bomba criogénica y diseñado para aceptar el fluido criogénico y descargar el fluido como una corriente caliente; un vaporizador de combustión directa situado aguas abajo y en comunicación de flujo fluido con el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión y diseñado para aceptar la corriente caliente procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar una corriente sobrecalentada; y una unidad de alimentación de motor diésel para proporcionar energía a la bomba criogénica, al circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión, y al vaporizador de combustión directa.

En otra realización se describe un dispositivo de bombeo, que comprende: una fuente criogénica para proporcionar un fluido criogénico para vaporización; una bomba criogénica en comunicación de flujo fluido con la fuente criogénica para incrementar la presión del fluido criogénico; un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión en comunicación de flujo fluido con la bomba criogénica y diseñado para aceptar el fluido criogénico y descargar el fluido como una corriente caliente, comprendiendo el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación diseñado para aceptar una corriente de vapor de agua procedente de una fuente externa para intercambio de calor con el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión; y una unidad de alimentación de motor diésel para proporcionar energía a la bomba criogénica y al circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión.

En otra realización adicional se describe un proceso para sobrecalentar un fluido criogénico, que comprende: proporcionar un fluido criogénico para vaporización; presurizar el fluido criogénico; entibiar el fluido criogénico presurizado dentro de un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar un fluido presurizado tibio; y seguir calentando el fluido presurizado tibio en un vaporizador de combustión directa situado aguas abajo y en comunicación de flujo fluido con el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar un vapor sobrecalentado.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

El anterior resumen, así como la siguiente descripción detallada de realizaciones de ejemplo, se comprenden mejor cuando se leen en conjunto con los dibujos adjuntos. A fin de ilustrar realizaciones, en los dibujos se muestran construcciones de ejemplo; sin embargo, la invención no está limitada a los métodos e instrumentos específicos descritos. En los dibujos:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de un dispositivo de bombeo híbrido de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama de flujo de un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión de ejemplo de acuerdo con una realización de la presente invención;

5 La Figura 3 es un diagrama de flujo de un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión alternativo al descrito en la Figura 2 de acuerdo con la presente invención; y

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión de ejemplo que incluye un sistema de control de acuerdo con una realización de la presente invención.

10 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Una realización de la presente invención concierne a un dispositivo de bombeo híbrido que utiliza el calor residual procedente del motor diésel utilizado para accionar el dispositivo de bombeo híbrido para la vaporización. Dicha realización incluye el uso de un vaporizador sin combustión instalado en serie aguas arriba de un vaporizador de combustión directa para hacer más eficiente el funcionamiento del vaporizador de combustión directa. El dispositivo de bombeo híbrido también incluye un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión, por ejemplo que recoge calor residual procedente del motor diésel y transmite el calor al nitrógeno en el vaporizador sin combustión. Además, se captura calor de la corriente de escape del vaporizador de combustión directa después de la batería intercambiadora de calor de nitrógeno y el calor se transmite al circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión. Cuando se dispone de un suministro de vapor de agua, el dispositivo de bombeo híbrido también puede comprender un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación para proporcionar calor adicional para el nitrógeno de vaporización dentro del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión. El dispositivo de bombeo híbrido también puede incluir un sistema de control para operar/mantener el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión dentro de limitaciones de temperatura, y un sistema de control para operar el vaporizador de combustión directa para equilibrar las cargas térmicas sin intervención del operador.

25 En contraste con el dispositivo de bombeo de recuperación de calor, el dispositivo de bombeo híbrido no carga intencionadamente al motor diésel por medio de un freno hidráulico o de un circuito hidráulico para crear más calor. El motor del dispositivo de bombeo híbrido es mucho más pequeño (por ejemplo, un motor de 450 hp ó 336 kW) que el motor del dispositivo de bombeo de recuperación de calor (por ejemplo, un motor de 750 hp ó 559 kW) y proporciona sólo la potencia en el eje necesaria para las bombas de nitrógeno y para los circuitos auxiliares. Para entibiar y vaporizar el nitrógeno, el dispositivo de bombeo híbrido recoge calor del circuito de refrigerante del motor, del circuito de aire de salida del turbo, del circuito de escape del motor, y de los circuitos de aceite tibio, así como del gas de escape de combustión del vaporizador de combustión y del vapor de agua suministrado opcionalmente. Además, el dispositivo de bombeo híbrido captura el calor procedente del motor que, si no fuera capturado, sería liberado a la atmósfera por los dispositivos de bombeo de combustión directa o de combustión indirecta tradicionales.

40 Para las personas con experiencia en la técnica, no es evidente establecer un orden en el que el flujo de nitrógeno de un dispositivo de bombeo pasa en primer lugar a través de un vaporizador sin combustión y, a continuación, en segundo lugar, a través de un vaporizador de combustión directa. Por ejemplo, una persona con experiencia en la técnica podría asumir que la instalación de un vaporizador de menor capacidad en serie con un vaporizador de mayor capacidad limitaría la capacidad del circuito a la del vaporizador de menor capacidad. Asimismo, una persona con experiencia en la técnica probablemente reconocería que el calor latente necesario para vaporizar una masa dada de nitrógeno líquido es casi igual que el calor sensible necesario para entibiar vapor de nitrógeno frío saturado hasta temperatura ambiente. Por lo tanto, una persona con experiencia en la técnica podría llegar incorrectamente a la conclusión de que, dado que un vaporizador situado aguas arriba puede tener poco impacto sobre la temperatura del nitrógeno que entra en el vaporizador de combustión, no mejoraría la eficiencia del vaporizador de combustión directa porque se seguiría formando hielo en las zonas en que los tubos intercambiadores de calor contienen vapor de nitrógeno frío.

50 Sin embargo, los solicitantes encontraron con resultado sorprendente, que el vaporizador sin combustión mejora de manera directa la eficiencia de intercambio de calor dentro del intercambiador de calor del vaporizador de combustión directa. A menudo el nitrógeno líquido llega al vaporizador de combustión de un dispositivo de bombeo convencional en un estado subenfriado. Esto sucede cuando la presión de descarga de la bomba de desplazamiento positivo es mayor que la presión de saturación resultante coincidente con el incremento de temperatura del nitrógeno líquido a medida que éste se hace pasar a través de las bombas y tuberías que conducen hasta el vaporizador. Cuando el vaporizador de combustión directa está funcionando con un caudal de nitrógeno que está muy por debajo de la capacidad nominal del intercambiador de calor del vaporizador de combustión directa, existe poco diferencial de presión a través de los tubos intercambiadores de calor paralelos para distribuir nitrógeno líquido de manera uniforme a través de un colector vertical de distribución de tubos de intercambio de calor que es un elemento habitual para los vaporizadores de combustión directa. Esto provocaría separación de fases líquido-vapor en el colector vertical de tubos intercambiadores de calor. El nitrógeno líquido más denso situado en el fondo del colector se canalizaría a través de tubos intercambiadores de calor inferiores. Con el tiempo, la formación de hielo sobre los tubos intercambiadores de calor inferiores aísla a los tubos inferiores al mismo tiempo que canaliza de forma preferente el gas de combustión haciéndolo pasar por encima de los tubos superiores. El problema es complejo

porque las pérdidas por rozamiento del nitrógeno que se mueve a través de las tuberías del intercambiador de calor son menores para un caudal másico dado de una corriente de gas más frío, más denso, que para una corriente de gas más caliente, menos denso. Por lo tanto, el caudal másico en un tubo dado normalmente es mayor en los tubos inferiores que en los tubos superiores.

5 La secuencia de vaporizadores descrita mejora la eficiencia del intercambiador de calor del vaporizador de combustión directa de las siguientes formas. En primer lugar, cuando la presión a la entrada del vaporizador de combustión es mayor que la presión crítica del nitrógeno, 477,6 psi (32,93 bar), el vaporizador sin combustión puede incrementar la temperatura de la corriente de nitrógeno que entra en el vaporizador de combustión hasta que éste se  
10 convierte en un fluido supercrítico por encima de -232,5° F (-146,9° C). En un estado fluido supercrítico no pueden existir fases líquida y vapor independientes, de modo que la distribución de nitrógeno en el interior del colector vertical de entrada del intercambiador de calor del vaporizador de combustión será más uniforme de arriba a abajo.

15 En segundo lugar, cuando la presión a la entrada del vaporizador de combustión es menor que la presión crítica del nitrógeno, el vaporizador sin combustión puede vaporizar por completo toda la corriente de nitrógeno que entra en el vaporizador de combustión, de modo que la distribución de nitrógeno en el interior del colector vertical de entrada del intercambiador de calor del vaporizador de combustión será más uniforme de arriba a abajo.

20 En tercer lugar, cuando la presión a la entrada del vaporizador de combustión es menor que la presión crítica del nitrógeno, el vaporizador sin combustión puede vaporizar parcialmente la corriente de nitrógeno que entra en el vaporizador de combustión. La expansión del nitrógeno a medida que va siendo vaporizado de líquido a vapor crearía un flujo bifásico y haría aumentar la velocidad del nitrógeno que entra en el vaporizador de combustión. La turbulencia asociada al flujo bifásico de mayor velocidad mejora la distribución del nitrógeno en el interior del colector vertical de entrada del intercambiador de calor del vaporizador de combustión de arriba a abajo.

25 La secuencia de vaporizadores en combinación con el intercambiador de calor de escape del vaporizador de combustión es especialmente importante porque el vaporizador de combustión es un intercambiador de calor de flujo en paralelo. Típicamente, los intercambiadores de calor de flujo en contracorriente son más eficientes que los  
30 intercambiadores de calor de flujo en paralelo cuando la temperatura de acercamiento es relativamente baja, lo que significa que la temperatura de salida del fluido de proceso es relativamente parecida a la temperatura de salida del medio de calentamiento. En un intercambiador de calor de flujo en contracorriente genérico, si el intercambiador de calor tiene suficiente área superficial, la temperatura de salida del fluido de proceso calentado puede ser mayor que la temperatura de salida del fluido de calentamiento. La misma condición no se puede producir en un intercambiador de calor de flujo en paralelo genérico. La temperatura de acercamiento de un intercambiador de calor de flujo en  
35 paralelo genérico siempre será mayor que la temperatura de acercamiento de un intercambiador de calor de flujo en contracorriente cuando todos los demás parámetros sean iguales. Los intercambiadores de calor para vaporizadores de combustión directa son casi exclusivamente de flujo en paralelo para utilizar la temperatura más caliente del gas de combustión para controlar la formación de hielo en los tubos de intercambio de calor cerca de la entrada de nitrógeno líquido del intercambiador de calor. La secuencia de intercambiadores de calor en combinación con la  
40 adición de un intercambiador de calor en la corriente de escape del vaporizador de combustión directa que se describe en este documento utiliza el gas de escape del vaporizador de combustión que ya ha transmitido parte del calor de combustión a la batería intercambiadora de calor del vaporizador de combustión. A continuación, el gas de escape más frío transmite calor al nitrógeno aún más frío a través de un medio de, por ejemplo, agua-etilenglicol. De esta manera, en el intercambiador de calor del vaporizador de combustión directa entra nitrógeno más caliente a la  
45 mayor temperatura de combustión. En términos prácticos, la secuencia de vaporizador sin combustión y vaporizador de combustión directa hace que el intercambio de calor combinado sea más similar a la transmisión de calor para flujo en contracorriente.

50 De manera importante, las tecnologías combinadas reducen el consumo de combustible. Además, y como resultado del menor consumo de combustible, las emisiones de NO<sub>x</sub>, de CO y de partículas se reducen todas ellas. Además, típicamente, la baja temperatura de combustión de los vaporizadores de combustión directa produce mucho menos NO<sub>x</sub> por libra de combustible que los motores diésel actuales, incluso mucho menos que los motores que cumplen los límites de emisiones del Tier 3 de la EPA. De esta manera, el dispositivo de bombeo híbrido, utilizando un motor más pequeño en comparación con un dispositivo de bombeo de recuperación de calor, es capaz de suministrar un  
55 caudal de nitrógeno similar al del dispositivo de bombeo de recuperación de calor, pero es capaz de producir menos NO<sub>x</sub> por unidad de volumen de nitrógeno suministrado. De esta forma, el dispositivo de bombeo híbrido es una solución tanto económica como medioambiental.

60 Los dispositivos de bombeo se construyen principalmente para aplicaciones en campos petrolíferos y de gas. De hecho, la tecnología de los dispositivos de bombeo se desarrolló como resultado de las industrias del petróleo y del gas. Dado que, típicamente, en los emplazamientos de los pozos de gas y de petróleo no hay vapor de agua disponible, los fabricantes que suministran dichos equipos de bombeo para empresas que prestan servicios en campos petrolíferos no considerarían ningún método que utilizase vapor de agua para la vaporización. Sin embargo, el vapor de agua está habitualmente disponible en plantas industriales/refinerías de gas y químicas que pueden  
65 requerir dispositivos de bombeo para un suministro temporal de nitrógeno. El uso de vapor de agua para vaporizar

fluidos criogénicos es habitual en la industria de las plantas industriales/refinerías de gas y químicas. Existen en el mercado vaporizadores de vapor de agua comerciales que transmiten calor directamente desde vapor de agua de condensación a un fluido criogénico a través de la pared de un tubo intercambiador de calor, o que inyectan vapor de agua para calentar un baño de agua con circulación por convección mientras el baño tibio transmite calor al fluido criogénico a través de tubos intercambiadores de calor.

Aunque en los dispositivos de bombeo convencionales se pueden utilizar vaporizadores de vapor de agua comerciales que tengan tanto vaporizadores de combustión como vaporizadores sin combustión, el coste adicional de instalar un vaporizador de vapor de agua de condensación o un vaporizador de baño de agua con aspersion de vapor de agua con una batería de tubos de alta presión como circuito de vaporización secundario ha sido tradicionalmente prohibitivo y ha impedido dicha incorporación. Además, sería particularmente difícil dar cabida al tamaño del vaporizador de vapor de agua dado que la pared relativamente gruesa de los tubos intercambiadores de calor de acero inoxidable de alta presión reduce la transmisión de calor y da como resultado un área superficial de intercambio de calor mucho mayor en comparación con tubos de pared delgada de baja presión.

También se podrían construir dispositivos de bombeo que no usaran vaporizadores de combustión directa o vaporizadores sin combustión convencionales que utilicen calor procedente del motor. En lugar de esto, el equipo podría utilizar vapor de agua como la única fuente de vaporización sin el gasto de instalar otros circuitos vaporizadores. Sin embargo, este tipo de equipo tendría una utilidad limitada porque no se podría utilizar para muchas aplicaciones de dispositivos de bombeo de nitrógeno, dado que sólo se podría usar en lugares que puedan proporcionar el vapor de agua. Además, interrupciones en el suministro de vapor de agua pondrían en riesgo la capacidad de vaporización de nitrógeno. La técnica directa de instalar vaporizadores de vapor de agua en dispositivos de bombeo de nitrógeno se ha utilizado en cierta medida en Europa, pero en los Estados Unidos no se ha adoptado como práctica habitual debido a los inconvenientes tanto en coste como en tamaño.

Una realización de la presente invención utiliza un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación disponible en el mercado con tubos de pared delgada de baja presión para calentar el circuito de refrigerante específico para un dispositivo de bombeo convencional con un vaporizador sin combustión, o específico para un dispositivo de bombeo de nitrógeno que comprende un vaporizador de combustión y un vaporizador sin combustión. El intercambiador de calor de vapor de agua de condensación de baja presión representa una fracción del coste y del tamaño de un vaporizador de vapor de agua con tubos de intercambio de calor de alta presión. La utilización de un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación en el circuito de refrigerante del dispositivo de bombeo de nitrógeno con un vaporizador sin combustión da como resultado un menor consumo de combustible, porque se puede reducir la carga del motor al mismo tiempo que el calor latente procedente de la condensación del vapor de agua desplaza calor que, de otro modo, tendría que ser proporcionado desde el refrigerante del motor, desde el escape del motor, y desde el sistema hidráulico y/o freno hidráulico. La utilización de un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación en el circuito de refrigerante del dispositivo de bombeo de nitrógeno con vaporizadores sin combustión y con vaporizadores de combustión directa puede complementar la capacidad del dispositivo de bombeo sin hacer funcionar el vaporizador de combustión.

Algunas partes de los Estados Unidos (por ejemplo, California) restringen el uso de vaporizadores de combustión directa, permitiendo sólo el funcionamiento de equipos que tengan licencias de funcionamiento explícitas emitidas por un distrito de calidad del aire. Los distritos también pueden aplicar restricciones de funcionamiento adicionales sobre el uso de dicho equipo con licencia. El dispositivo híbrido de bombeo de nitrógeno, cuando se hace funcionar sin el uso del vaporizador de combustión, permite proporcionar servicios sin restricciones de funcionamiento en distritos de calidad del aire que no han emitido licencias de funcionamiento para el vaporizador de combustión. El intercambiador de calor de vapor de agua de condensación también reduce el consumo de combustible del vaporizador de combustión mientras se utiliza dicho vaporizador de combustión. El suministro de vapor de agua en una refinería se genera, en parte, usando corrientes de gas inflamable residual recogidas de un colector para el quemador para uso en calderas. El proporcionar calor adicional procedente de un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación en el circuito de refrigerante es un método compacto y rentable para reducir el coste total de funcionamiento y las emisiones, al mismo tiempo que se reduce la carga de mantener un suministro de combustible durante un largo periodo de tiempo. El intercambiador de calor de vapor de agua de condensación que proporciona calor para vaporizar y entibiar el nitrógeno mediante el medio intermedio de agua-etilenglicol no es tan versátil como un vaporizador de vapor de agua. Los vaporizadores de baño de agua con aspersion de vapor de agua pueden calentar el nitrógeno hasta temperaturas ligeramente mayores, dado que el baño de agua se puede hacer funcionar a mayor temperatura que el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión que también se debe usar para enfriar el motor diésel. Los tanques de agua de los vaporizadores de baño de agua con aspersion de vapor de agua comerciales son tanques a presión atmosférica que limitan la temperatura del baño de agua al punto de ebullición del agua a presión atmosférica, 212° F (100° C) a nivel del mar.

Los vaporizadores de vapor de agua de condensación pueden calentar nitrógeno hasta temperaturas mayores que los vaporizadores de baño de agua con aspersion de vapor de agua y que la técnica que utiliza un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación, dado que la presión del vapor de agua en el interior de la carcasa del vaporizador de vapor de agua de condensación hace aumentar la temperatura a la que el vapor de agua se

condensa y se transforma en agua. Sin embargo, el intercambiador de calor de vapor de agua de condensación es económicamente justificable en dispositivos de bombeo de nitrógeno, mientras que esto no es así para un vaporizador de vapor de agua. El intercambiador de calor de vapor de agua de condensación utilizado en el dispositivo de bombeo híbrido proporciona las ventajas de mayor capacidad de vaporización del dispositivo de bombeo de nitrógeno cuando no se utiliza el vaporizador de combustión; y menor consumo de combustible del dispositivo de bombeo cuando se utiliza el vaporizador de combustión para algunas aplicaciones, dependiendo del caudal y de la temperatura de descarga del nitrógeno.

La unidad de bombeo dual híbrida también puede incluir un sistema o mecanismo de control para ayudar a conseguir un funcionamiento eficiente. Dicho sistema de control puede incluir procesadores, dispositivos de memoria, dispositivos de entrada de datos, por ejemplo, teclados, pantallas táctiles, etc. y dispositivos de salida tales como monitores, impresoras, etc. que controlan o interactúan con: (1) un sensor o detector para determinar y/o monitorizar la temperatura del nitrógeno cuando éste sale del vaporizador de combustión para controlar el consumo de combustible de combustión; (2) un sensor o detector para determinar y/o monitorizar la temperatura del nitrógeno cuando éste sale de la unidad de bombeo para controlar la fracción relativa del nitrógeno que no pasa por los vaporizadores para un control final de temperatura; (3) un sensor o detector para determinar y/o monitorizar la temperatura del circuito de refrigerante para controlar la cantidad de nitrógeno que entra en el vaporizador de refrigerante, la fracción de gas de escape de combustión que se dirige al intercambiador de calor de escape del vaporizador de combustión, y la cantidad de vapor de agua que entra en el intercambiador de calor de vapor de agua de condensación; (4) un sensor o detector para determinar y/o monitorizar la pérdida de carga a través del vaporizador de refrigerante y una válvula de control de entrada de nitrógeno para permitir que nitrógeno líquido evite pasar directamente por el vaporizador de combustión mediante medición de presión diferencial y control de realimentación para una válvula de control de derivación o válvula antirretorno con gran resistencia al agrietamiento por presión; (5) válvulas termostáticas para equilibrar la transmisión de calor desde circuitos de aceite hidráulicos y/o de lubricación; (6) válvulas termostáticas para liberar de manera eficiente el exceso de calor del circuito de refrigerante hacia el radiador del motor; y (7) protecciones contra interrupciones del suministro y sobrepresión para el depósito de refrigerante y/o las carcasas del intercambiador de calor en caso de fallo en el control del circuito de refrigerante. El sistema de control también puede controlar, o interactuar con, (8) un radiador del motor sobredimensionado para admitir transmisión de calor procedente del escape del motor y del aire de salida del turbo cuando no se utiliza calor en el vaporizador del refrigerante; (9) un postenfriador de líquido, seguido por refrigeración, por intercambio de calor aire-aire, del aire de salida del turbo típica para los diseños de motores de Tier 3 de la EPA; y (10) un separador para eliminar agua del aire de salida del turbo para admitir temperaturas del colector de entrada de aire que sean menores que las típicas para el diseño del motor.

La Figura 1 ilustra un dispositivo de bombeo 100 híbrido de acuerdo con una realización de la presente invención. El dispositivo de bombeo 100 híbrido de la Figura 1 comprende un tanque 102 de suministro que almacena líquido criogénico (por ejemplo, nitrógeno líquido, argón líquido, etc.) y lo envía a las bombas 106 criogénicas a través del conducto 104. Las bombas 106 criogénicas están en comunicación de flujo fluido con el tanque 102 de suministro. Para mayor brevedad, en las realizaciones de ejemplo los Solicitantes se referirán al líquido criogénico como nitrógeno líquido, sin embargo, debería observarse que no se debería considerar que el uso por los Solicitantes del término nitrógeno líquido en este documento limite la descripción. Por ejemplo, el líquido criogénico puede ser argón líquido. Además, tal como se usa en este documento, la expresión "en comunicación de flujo fluido" significa conectado funcionalmente mediante uno o más conductos, conducciones, colectores, válvulas y similares, para transferencia de fluido. Un conducto es cualquier tubería, conducción, tubo, paso o similar, a través del cual se puede transportar un fluido (líquido o gaseoso). A menos que se indique explícitamente algo diferente, entre un primer dispositivo y un segundo dispositivo, en comunicación de flujo fluido, puede estar situado un dispositivo intermedio, como por ejemplo una bomba, un compresor o un recipiente.

A menudo, las bombas 106 criogénicas comprenden una bomba centrífuga para incrementar la altura de aspiración positiva neta disponible y una bomba de émbolo de desplazamiento positivo de alta presión. El nitrógeno se bombea entonces como un líquido criogénico a través de un conducto 108 hacia un circuito 110 de refrigerante del vaporizador sin combustión que vaporiza una fracción de la corriente de nitrógeno o toda la corriente dependiendo del caudal de nitrógeno y de la temperatura de las fuentes de calor para formar una corriente tibia o caliente. A efectos de esta solicitud de patente, la expresión "circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión" hace referencia al circuito de refrigerante que utiliza un refrigerante de, por ejemplo, agua-etilenglicol para proporcionar refrigeración al motor y para transmitir calor al fluido criogénico. Para mayor claridad, el refrigerante de agua-etilenglicol es un refrigerante/fluido de ejemplo utilizado para entibiar el nitrógeno. El refrigerante de agua-etilenglicol se puede intercambiar por otros refrigerantes similares, incluyendo, pero no limitados a, agua pura, propilenglicol, y agua-propilenglicol. La corriente de nitrógeno tibia o caliente que sale del circuito 110 de refrigerante del vaporizador sin combustión pasa a continuación a través del conducto 112 hacia el vaporizador 114 de combustión directa para elevar la temperatura de la corriente de nitrógeno hasta la temperatura deseada. El nitrógeno se descarga desde el dispositivo de bombeo 100 a través del conducto 116 como una corriente sobrecalentada para satisfacer a continuación las necesidades del cliente. Las bombas 106 criogénicas, el circuito 110 de refrigerante del vaporizador sin combustión, y el vaporizador de combustión directa están alimentados por una unidad 118 de alimentación de motor diésel a través de cables 120, 122, 124 de transmisión de potencia.

Típicamente, los dispositivos de bombeo utilizan una bomba hidráulica accionada por un motor diésel para proporcionar energía para operar circuitos no detallados en los dibujos, incluyendo, pero sin estar limitados a, bombas centrífugas de nitrógeno líquido, ventiladores de aire para combustión del vaporizador de combustión, y bombas de combustible. Habitualmente, para el cárter de la bomba de émbolo de desplazamiento positivo para nitrógeno líquido se utiliza un sistema de aceite de lubricación presurizado.

La Figura 2 ilustra una realización de ejemplo del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión que recoge calor de múltiples fuentes y transmite el calor a una corriente 262 de nitrógeno líquido (LIN), por ejemplo. Una gran porción del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión se hace circular por medio de la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador, a través del conducto 202. A través del conducto 212 se separa del conducto 202 una pequeña porción dividida del refrigerante y se introduce en el intercambiador 214 de calor de aceite. Tal como se usa en este documento, la expresión "porción dividida" de una corriente es una porción que tiene la misma composición química que la corriente de la cual se tomó. El intercambiador 214 de calor de aceite extrae calor de una o más corrientes de aceite (representadas en conjunto por la corriente 274) que incluyen sistemas hidráulicos de potencia y sistemas de aceite de lubricación presurizado que, si no, sería liberado a la atmósfera a través de enfriadores de aceite con aletas. La corriente 276 refrigerada sale a continuación del intercambiador 214 de calor y vuelve al depósito de aceite respectivo o a la bomba respectiva para ser recirculada. La pérdida de carga a través del intercambiador 214 de calor es compensada por la mayor fracción de refrigerante procedente de la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador que es introducida a través del conducto 203 en el intercambiador 204 de calor de salida del turbo del motor. Los motores diésel modernos enfrían el aire de salida del turbo procedente del turbocompresor para reducir la formación de NO<sub>x</sub> reduciendo las temperaturas pico de combustión y para incrementar la potencia específica. La alta temperatura de la corriente de escape del motor es calor que se desperdicia a menos que se capture. El refrigerante extrae calor de la corriente 266 de aire de salida del turbo del motor en el intercambiador 204 de calor de aire de salida del turbo del motor y, a continuación, este refrigerante es enviado a través del conducto 206 al interior del intercambiador 208 de calor del motor. La corriente de aire de salida del turbo del motor refrigerada continúa a través del conducto 268 hasta el colector de entrada de aire del motor. El refrigerante absorbe calor de la corriente 270 de escape del motor en el intercambiador 208 de calor de escape del motor. La corriente de escape del motor refrigerada sale a través del conducto 272 hacia un silenciador o directamente a la atmósfera.

La corriente de refrigerante resultante procedente del intercambiador 208 de calor de escape del motor se envía a continuación a través del conducto 210 para que se mezcle con la corriente de refrigerante procedente del intercambiador 214 de calor de aceite que viene a través del conducto 216, entrando en el conducto 217. El refrigerante mezclado fluye a través del conducto 217 y entra en el intercambiador 218 de calor de escape del vaporizador de combustión, donde el calor, que de otra forma sería liberado a la atmósfera, se transmite desde la corriente 278 de escape del vaporizador de combustión directa a la corriente de refrigerante. El escape 280 refrigerado del vaporizador de combustión se expulsa a la atmósfera. La corriente de refrigerante se transporta a continuación por medio del conducto 220 desde el intercambiador 218 de calor de escape del vaporizador de combustión al intercambiador 222 de calor de vapor de agua de condensación, donde el vapor 282 suministrado condensa y transmite calor latente al refrigerante. El vapor de agua va pasando a la fase líquida a medida que se va enfriando, y el condensado resultante es descargado por medio del conducto 284. La corriente de refrigerante está en su punto más caliente del circuito de refrigerante en el conducto 224 que sale del intercambiador 222 de calor de vapor de agua de condensación antes de entrar en el vaporizador 226 de refrigerante. En el interior del vaporizador 226 de refrigerante, a través de tubos de alta presión, se transmite calor desde la corriente de refrigerante a la corriente 262 de nitrógeno líquido (LIN) criogénico para formar una corriente 264 de nitrógeno vaporizado (GAN) que podrá ser usada en los procesos del cliente. El refrigerante sale del vaporizador 226 de refrigerante a través del conducto 228 y entra en la válvula 230 termostática de refrigerante. Si la temperatura de la corriente de refrigerante se aproxima a la temperatura de funcionamiento del motor, la válvula 230 termostática del refrigerante dirigirá de forma proporcional una porción dividida de la corriente de refrigerante, o toda la corriente de refrigerante, a través del conducto 234 y la enviará al radiador 236 que es refrigerado por aire ambiente forzado procedente de un ventilador del motor diésel (no mostrado).

De manera importante, la realización de ejemplo descrita en este documento no desvía calor del aire de salida del turbo o del escape del motor para alejarlo del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión cuando el calor es indeseable, sino que, en lugar de ello, incrementa la capacidad de disipación de calor del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión incrementando el tamaño del radiador 236 del motor por encima del valor nominal de disipación de calor de una unidad de alimentación de motor diésel estándar, e incrementando la capacidad de aire del ventilador del motor (no mostrado) que hace pasar aire a través del radiador 236.

Un diseño alternativo de circuito de refrigerante para el vaporizador sin combustión desviaría la corriente 266 de aire de salida del turbo del motor para evitar que pase por el intercambiador 204 de calor de aire de salida del turbo del motor y desviaría la corriente 270 de escape del motor para evitar que pase por el intercambiador 208 de calor de escape del motor cuando el calor absorbido no se pueda utilizar para vaporizar nitrógeno. Esta alternativa permitiría

dimensionar el radiador 236 del motor y el ventilador del motor asociado (no mostrado) de acuerdo con los valores nominales estándar para la unidad de alimentación de motor diésel.

5 Cuando la corriente de refrigerante se encuentra a una temperatura mucho menor que las temperaturas de funcionamiento normales del motor, el refrigerante que sale de la válvula 230 termostática del refrigerante se puede dirigir a través del conducto 232 de derivación del radiador. La corriente 238 del radiador y la corriente 232 de derivación del radiador entran a continuación en el colector 240 del refrigerante. Parte del flujo de refrigerante o todo el flujo de refrigerante que entra en el colector 240 de refrigerante fluye a continuación a través del colector 242 del depósito de refrigerante donde conecta con el conducto 243 del depósito de refrigerante. El caudal de refrigerante que pasa a través del conducto 243 del depósito de refrigerante es casi estático.

15 Típicamente, una ínfima porción de refrigerante fluirá desde el depósito 244 de refrigerante a través del conducto 243 del depósito de refrigerante al interior del colector 245 de retorno de refrigerante al igual que lo harán una o múltiples conducciones de sangrado procedentes del motor o del radiador no indicadas en el flujo esquemático hacia el interior del depósito de refrigerante. Los pequeños sangrados purgan aire enviándolo al interior del depósito 244 de refrigerante, el cual es el punto alto del sistema 200 de refrigerante y también calientan el refrigerante del depósito 244 de refrigerante para elevar la presión de vapor del refrigerante. Este proceso incrementa la altura de aspiración positiva neta disponible para las bombas 246 y 260 de refrigerante a mayores temperaturas de funcionamiento. Las fluctuaciones de temperatura en el circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión también producirán flujos transitorios netos mínimos que entran y salen del depósito 244 de refrigerante a través del conducto 243.

25 La unidad de alimentación de motor diésel (compuesta por al menos los elementos 236, 241, 246, 248, 250, 252, 254, 256, 266, y 270) del dispositivo de bombeo híbrido constituye una porción del circuito 200 de refrigerante. La bomba 246 de refrigerante del motor incrementa la presión del refrigerante que circula a través del conducto 248 y que entra en los sistemas 250 de refrigeración del motor, incluyendo las camisas de los cilindros, la culata, el turbocompresor, el compresor de aire, el enfriador de la EGR (recuperación de los gases de escape), etc. (colectivamente no mostrados). Tras salir del sistema 250 de refrigeración del motor, el refrigerante calentado es dirigido a través del conducto 252 hacia el termostato 254 del motor, abriéndose dicho termostato 254 del motor proporcionalmente para refrigerar una porción dividida de la corriente de refrigerante. Cuando la corriente de refrigerante procedente de los sistemas 250 de refrigeración del motor y del conducto 252 está a una temperatura menor que la temperatura de funcionamiento normal del motor, esencialmente todo el refrigerante es dirigido a través del conducto 256 de vuelta al conducto 241 de aspiración de la bomba 246 de refrigerante del motor. A medida que la temperatura del refrigerante se va aproximando a la temperatura de funcionamiento (por ejemplo, 175° F (79° C) a 210° F (99° C)) o la supera, una mayor porción dividida de refrigerante es dirigida a través del conducto 258 por medio del termostato 254, mezclándose con refrigerante procedente del colector 245 de retorno y entrando en el conducto 259 de aspiración de la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador.

40 A medida que este refrigerante va siendo dirigido hacia el interior del circuito de refrigerante de mayor tamaño, se intercambia refrigerante desde el colector 240 de refrigerante y la corriente 238 del radiador devolviéndolo a la unidad de alimentación de motor diésel a través del conducto 239. El circuito de refrigerante de mayor tamaño está más frío que el sistema de refrigerante del motor, por lo que se suministra calor desde la unidad de alimentación de motor diésel y desde otras fuentes al circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión para vaporizar la corriente 262 de nitrógeno líquido criogénico, y el calor absorbido por el nitrógeno enfría el circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión para proporcionar refrigeración para la unidad de alimentación de motor diésel.

50 El circuito 300 de refrigerante del vaporizador sin combustión mostrado en la Figura 3 es un ejemplo de numerosas configuraciones alternativas de los intercambiadores de calor del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión. Es importante situar la bomba 260 del refrigerante del motor en una posición que proporcione poca diferencia de presión entre el depósito 244 de refrigerante y los orificios de aspiración de ambas bombas 241, 260 para evitar daños por cavitación a las bombas 246, 260. Un diseño óptimo del circuito 300 de refrigerante del vaporizador sin combustión situará los intercambiadores de calor 304, 308, 314, 318, 322, de tal manera que los que utilizan fluidos de calentamiento a mayores temperaturas estén situados en la parte más caliente del circuito 300 de refrigerante del vaporizador sin combustión para maximizar la eficiencia, pero en la configuración también influyen algunos factores prácticos. Típicamente, el gas 370 de escape del motor está más caliente que el circuito 382 de vapor de agua suministrado, que el circuito 366 de aire de salida del turbo del motor, y que el circuito 374 de aceite de lubricación e hidráulico. Pese a la mayor temperatura del escape del motor, el valor de simplificar el conducto instalando el intercambiador 308 de calor de escape del motor cerca del intercambiador 304 de calor del aire de salida del turbo y del intercambiador 314 de calor de aceite compensa el no conseguir la eficiencia máxima debido a un menor peso y a un menor número de componentes. Con respecto al circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión, el circuito 300 de refrigerante del vaporizador sin combustión es idéntico en el orden de componentes en la dirección del flujo de refrigerante desde la válvula 230 termostática de refrigerante hacia el conducto 202 de descarga de la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador.

El circuito 300 de refrigerante del vaporizador sin combustión se diferencia del circuito 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión en el orden de los siguientes intercambiadores de calor y corrientes de interconexión. El refrigerante procedente del conducto 202 de descarga entra en el intercambiador 314 de calor de escape del vaporizador de combustión, donde se absorbe calor de la corriente 378 de escape del vaporizador de combustión. La corriente de escape del vaporizador de combustión se descarga a la atmósfera a través del conducto 380, y el refrigerante es dirigido hacia el intercambiador 322 de calor del vapor de agua de condensación a través del conducto 320. Dentro del intercambiador 322 de calor del vapor de agua de condensación, se transmite calor desde la corriente 382 de vapor de agua suministrada a la corriente de refrigerante. El condensado se descarga a través del conducto 384, y el refrigerante pasa a través del conducto 324 al vaporizador 326 del refrigerante. Dentro del vaporizador 326 de refrigerante el refrigerante transmite calor a la corriente 362 de nitrógeno líquido criogénico que entra en él. El nitrógeno líquido criogénico se vaporiza y se entibia a medida que va absorbiendo calor del refrigerante. El nitrógeno vaporizado sale a través del conducto 364. El refrigerante se mueve desde el vaporizador 326 del refrigerante a través del conducto 328. Una pequeña porción dividida del refrigerante es separada de la corriente 328 de refrigerante e introducida en el conducto 312, y entra en el intercambiador 314 de calor de aceite. El intercambiador 314 de calor de aceite enfría la corriente 374 de aceite que entra en él con la corriente de refrigerante. El aceite enfriado se devuelve al depósito de aceite (no mostrado) o a la bomba de aceite (no mostrada) a través del conducto 376. La porción dividida de mayor tamaño de la corriente 328 de refrigerante entra en el intercambiador 304 de calor de aire de salida del turbo del motor a través del conducto 303. El refrigerante absorbe calor del aire 366 de salida del turbo del motor de entrada. El aire de salida del turbo del motor, refrigerado, sale del intercambiador 304 de calor de aire de salida del turbo del motor a través del conducto 368, donde entra en el colector de entrada de aire del motor (no mostrado). El refrigerante fluye desde el intercambiador 304 de calor de aire de salida del turbo del motor a través del conducto 306 hasta el intercambiador 308 de calor de escape del motor, dentro del cual se absorbe calor de la corriente 370 de escape del motor. El escape del motor, refrigerado, sale a través del conducto 372 hacia el silenciador del motor (no mostrado) o directamente a la atmósfera. El refrigerante sale del intercambiador de calor de escape del motor a través del conducto 310 donde se une a la corriente 316 de refrigerante procedente del intercambiador 314 de calor de aceite. La corriente 317 de refrigerante combinada fluye hacia la válvula 230 termostática de refrigerante.

El circuito 300 de refrigerante del vaporizador puede ser óptimo si es preferible situar la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador más cerca del intercambiador 318 de calor de escape del vaporizador de combustión directa, o si el valor nominal de la presión del lado del refrigerante de un intercambiador 308 de calor de escape del motor comercial es menor que la presión de descarga de la bomba 260 del circuito de refrigerante del vaporizador.

La Figura 4 ilustra un circuito 400 de refrigerante del vaporizador sin combustión de ejemplo que incluye un sistema de control de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de control proporciona respuestas de control automáticas para limitar la temperatura del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión reduciendo el flujo de entrada de calor procedente de algunas de las fuentes de calor. Para proporcionar al motor una refrigeración apropiada el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión debe estar a una temperatura menor que la temperatura normal de funcionamiento del motor diésel. Además, al circuito de refrigerante se le impone un límite inferior de temperatura para impedir que la mezcla refrigerante agua-etilenglicol se congele sobre la superficie de los tubos intercambiadores de calor del vaporizador de refrigerante de nitrógeno líquido. El sistema de control también proporciona un sistema de control automatizado para que el vaporizador de combustión equilibre automáticamente el calor intercambiado en respuesta a fluctuaciones en el calor proporcionado por los circuitos del motor debidas a cambios de las condiciones meteorológicas ambientales. Se indican dispositivos para permitir que los circuitos auxiliares, incluyendo los circuitos de aire de salida del turbo del motor y los circuitos de aceite hidráulico y de lubricación, tengan un control de temperatura apropiado cuando no se puede proporcionar refrigeración mediante el circuito de refrigerante del vaporizador.

Se descarga nitrógeno líquido desde las bombas criogénicas (no mostradas) a través del conducto o conducción 402. El flujo de nitrógeno se divide en una porción dividida principal que circula a través del conducto 404 hacia los vaporizadores 412, 436 y una porción dividida menor que circula a través del conducto 476 hacia la válvula 478 de control de derivación del vaporizador. El nitrógeno enviado hacia los vaporizadores por el interior del conducto 404 se vuelve a dividir en una porción dividida primaria que circula por el conducto 406 hacia la válvula 408 de control del vaporizador de refrigerante, y una porción dividida secundaria que circula por el conducto 416 hacia la válvula 418 de derivación del vaporizador de refrigerante. El nitrógeno que atraviesa la válvula 408 de control del vaporizador de refrigerante es introducido a través del conducto 410 en el vaporizador 412 de refrigerante, donde se transmite calor al nitrógeno líquido criogénico desde la corriente de refrigerante que entra por el conducto 588. El nitrógeno que no pasa por el vaporizador 412 de refrigerante y que lo hace a través de la válvula 418 atraviesa el conducto 420. Un controlador 430 de la válvula de derivación del vaporizador de refrigerante calcula la pérdida de carga a través del vaporizador 412 de refrigerante y de la válvula 408 de control del vaporizador de refrigerante restando la señal 428 de presión medida aguas abajo a la señal 424 de presión medida aguas arriba. Tal como se usa en este documento, las expresiones aguas abajo y aguas arriba hacen referencia a la dirección de flujo deseada del fluido de proceso transferido. Si la dirección de flujo deseada del fluido de proceso es desde el primer dispositivo hacia el segundo

dispositivo, el segundo dispositivo está en comunicación de flujo fluido hacia aguas abajo con respecto al primer dispositivo.

5 El sensor 426 de presión de aguas abajo es común con la presión en el conducto 420, y el sensor 422 de presión de  
 10 aguas arriba es común con la presión en el conducto 416. El controlador 430 de la válvula de derivación del  
 vaporizador de refrigerante envía una señal 432 proporcional a la válvula 418 de derivación del vaporizador de  
 15 refrigerante para reducir el caudal de nitrógeno para mantener una pérdida de carga que proporcione una fuerza  
 impulsora adecuada para introducir preferentemente nitrógeno a través del vaporizador 412 del refrigerante. Cuando  
 la válvula 408 de control del vaporizador de refrigerante reduce el caudal de nitrógeno que entra, la válvula 418 de  
 20 derivación del vaporizador de refrigerante responderá abriéndose para mantener la pérdida de carga. En esta  
 descripción, la pérdida de carga a través del vaporizador de refrigerante es mantenida mediante una válvula de  
 control, mediante sensores, y mediante un controlador para proporcionar corte positivo de la corriente 420 de  
 derivación cuando el vaporizador 412 de refrigerante tiene temperatura de sobra en la corriente 588 de refrigerante  
 que entra para vaporizar toda la corriente de nitrógeno, pero un método más sencillo consistente en instalar una  
 25 válvula antirretorno con una gran resistencia al agrietamiento por presión en lugar de la válvula de control, sensores,  
 y controlador proporcionaría una mejora similar en la eficiencia del vaporizador de combustión. El nitrógeno  
 vaporizado del conducto 414 se une a nitrógeno procedente de la corriente 420 de derivación del vaporizador de  
 refrigerante y entra en el conducto 434 que conduce hacia el intercambiador 436 de calor del vaporizador de  
 30 combustión, donde se proporciona calor procedente de la corriente 457 de gas de combustión del vaporizador.

El conducto 440 de aire forzado procedente de un ventilador centrífugo o axial entra en el quemador 442 del  
 vaporizador de combustión. Se suministra combustible líquido, como por ejemplo queroseno o diésel, al quemador  
 442 del vaporizador de combustión desde el conducto 444 mediante una bomba de combustible de desplazamiento  
 35 positivo (no mostrada). El ramal 446 del conducto de combustible proporciona control de la presión en el conducto  
 452 de combustible dejando salir una porción dividida de la corriente de combustible a través de la válvula 448 de  
 control de presión hacia el conducto 450 de retorno de combustible. Mediante la válvula 454 se representa a  
 múltiples válvulas de solenoide de combustible en paralelo. Cada válvula 454 de solenoide de combustible está  
 conectada a un conducto 456 de combustible específico que proporciona combustible a presión a boquillas de  
 40 pulverización situadas en el interior del quemador 442 del vaporizador de combustión, donde la combustión del  
 combustible calienta la corriente 440 de aire. El gas de combustión es enviado a través del conducto 457 hacia el  
 intercambiador 436 de calor del vaporizador de combustión donde se transmite calor a través de los tubos  
 intercambiadores de calor del intercambiador 436 de calor del vaporizador de combustión a la corriente de nitrógeno  
 45 procedente del conducto 434.

La corriente 438 de nitrógeno de salida del vaporizador contiene un sensor 466 de temperatura que envía la señal  
 468 de temperatura al controlador 470 del vaporizador de combustión. El controlador 470 del vaporizador de  
 combustión también recibe señales 464 y 460 procedentes, respectivamente, del sensor 462 de temperatura de  
 50 entrada al vaporizador de refrigerante y del sensor 458 de temperatura de entrada al vaporizador de combustión. Se  
 mide la temperatura a la entrada de ambos vaporizadores para proporcionar lógica de control permisiva que hará  
 que el vaporizador no queme por encima del consumo mínimo de combustible a menos que se detecte líquido  
 criogénico en cualquiera de los dos vaporizadores. El controlador 470 del vaporizador de combustión envía señales  
 55 472 de encendido/apagado a cada una de las válvulas 454 de solenoide de combustible en paralelo y envía una  
 señal 474 proporcional a la válvula 448 de control de presión de combustible. El controlador 470 del vaporizador de  
 combustión mide la desviación del sensor 466 de temperatura a la salida del vaporizador con respecto al valor de  
 60 consigna y responde con ajustes en la presión del combustible y en el número de toberas que inyectan combustible  
 en el quemador. La combinación y secuencia de las señales enviadas a las válvulas 454 y 448 controlan la  
 temperatura de combustión manipulando el consumo de combustible.

La temperatura de descarga permisible de los dispositivos de bombeo de nitrógeno para aplicaciones industriales  
 65 puede oscilar desde casi -300° F (-184° C) hasta más de 600° F (316° C) para admitir aplicaciones en las que se usa  
 nitrógeno como medio de calentamiento o de enfriamiento. El caudal permisible es similarmente variable, y puede  
 operar por encima de un rango de 20:1 con ciertos equipos. Los vaporizadores de combustión directa no pueden  
 operar de manera continua con una temperatura de salida de nitrógeno que permita la formación de hielo sobre los  
 tubos intercambiadores de calor en el colector de salida. Asimismo, caudales mínimos de nitrógeno a menudo son  
 70 calentados por encima de las temperaturas de descarga deseadas cuando el vaporizador de combustión directa se  
 hace funcionar a mínimo consumo de combustible. Una aplicación que requiera que la temperatura de descarga del  
 dispositivo de bombeo esté por debajo de la temperatura de salida del vaporizador de combustión mínima necesita  
 la válvula 478 de control de derivación del vaporizador. El nitrógeno líquido que atraviesa la válvula 478 de control  
 de derivación del vaporizador es enviado a través de la tubería 480 donde reduce la temperatura del nitrógeno que  
 75 sale del vaporizador 438 de combustión directa. La corriente de nitrógeno mezclado se envía a través de la tubería  
 482, donde la temperatura es detectada por el sensor 484 de temperatura de descarga. La señal 486 del sensor es  
 comunicada al controlador 488 de temperatura de descarga del dispositivo de bombeo, el cual puede ser ajustado  
 por el usuario, y éste envía una señal 492 proporcional para modular la válvula 478 de control de derivación del  
 vaporizador. Además, mediante la señal 490 se comunica al controlador 470 del vaporizador de combustión el valor  
 80 de consigna de la temperatura de descarga. El controlador 470 del vaporizador de combustión utilizará el valor de

consigna enviado por el controlador 488 de la temperatura de descarga para controlar la temperatura de salida del vaporizador para que sea igual a la mínima temperatura de salida permisible, o para que esté por encima de ésta.

5 La sección del sistema de control que representa al circuito de refrigerante es idéntica a la configuración de circuito  
 10 200 de refrigerante del vaporizador sin combustión de la Figura 2, descrita en detalle. La bomba 494 del circuito de  
 15 refrigerante del vaporizador es una bomba centrífuga que incrementa la presión del refrigerante en la corriente 496  
 20 de descarga de la bomba de refrigerante. El sensor 498 de presión en la corriente 496 de descarga de la bomba de  
 25 refrigerante está conectado al controlador 596 de la temperatura del refrigerante por medio de la señal 500. Una  
 30 presión de refrigerante anormalmente baja en la corriente 496 de descarga de la bomba de refrigerante que puede  
 35 ser indicativa de pérdida de circulación de refrigerante provocará que los dispositivos controlados por el controlador  
 40 596 de la temperatura del refrigerante pasen por defecto a posiciones de prevención de fallos que limitan la  
 45 transmisión de calor hacia y desde el circuito de refrigerante. El flujo de refrigerante procedente de la corriente 496  
 50 de descarga de la bomba de refrigerante se divide en dos porciones divididas. La mayor parte del flujo es enviada a  
 través del conducto 532 hacia el intercambiador 534 de calor de aire de salida del turbo del motor y hacia el  
 intercambiador 552 de calor de escape del motor, conectados por el conducto 550. Una fracción más pequeña del  
 flujo de refrigerante es enviada a través del conducto 502 hacia el intercambiador 504 de calor de aceite. El gas 554  
 de escape del motor procedente del turbocompresor del motor (no mostrado) o de un catalizador de tratamiento de  
 escape diésel (no mostrado) transmite calor a la corriente 550 de refrigerante que entra en el intercambiador 552 de  
 calor de escape del motor, saliendo a continuación a través del conducto 556 hacia el silenciador del motor o  
 directamente a la atmósfera.

El circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión puede operar con normalidad por debajo de la temperatura  
 ambiente bajo algunas condiciones, y en otros momentos el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión  
 puede operar por encima de la temperatura deseada del aire de salida del turbo del motor. Los fabricantes de  
 motores diésel especifican límites mínimo y máximo para la temperatura del aire de salida del turbo. El límite máximo  
 de temperatura está pensado para mantener las emisiones de NO<sub>x</sub> dentro de límites que cumplan las regulaciones  
 de la EPA para motores no de carretera. El límite mínimo está pensado para impedir que en el colector de admisión  
 del motor entre una cantidad significativa de agua condensada después de que el aire haya sido comprimido y  
 enfriado. En la Figura 4 se indica una sección del circuito de aire de salida del turbo del motor para mitigar estos  
 factores. El conducto 536 muestra aire de salida del turbo caliente comprimido procedente del turbocompresor del  
 motor (no mostrado) introducido en el intercambiador 534 de calor de aire de salida del turbo. El conducto 538  
 transfiere el aire de salida del turbo al enfriador 540 de aire de salida del turbo refrigerado por aire común en muchos  
 motores diésel industriales no de carretera que cumplen con los límites de emisiones del Tier 3 de la EPA. El  
 enfriador 540 de aire de salida del turbo refrigerado por aire es necesario porque el intercambiador 534 de calor de  
 aire de salida del turbo no enfría adecuadamente el aire de salida del turbo cuando la temperatura del circuito de  
 refrigerante se aproxima a la temperatura de funcionamiento del circuito de refrigerante del motor. Cuando las  
 condiciones de funcionamiento hacen descender la temperatura del aire de salida del turbo por debajo del límite  
 mínimo de temperatura especificado por el fabricante del motor, puede condensar algo de agua procedente del  
 vapor de agua presente en el aire ambiente. Esta agua sería transportada a través del conducto 542 al interior del  
 separador 544 de agua. Una baja velocidad del aire y cambios en la dirección de flujo en el separador 544 de agua  
 permiten que el condensado se recoja en el fondo donde es descargado a través del conducto 548 a una trampa con  
 flotador automática (no mostrada) o dispositivo similar que hace salir el agua sin descargar aire comprimido. El aire  
 de salida del turbo que sale del separador 544 de agua es introducido a través del conducto 546 en el colector de  
 entrada del motor. El aire de salida del turbo estará a una temperatura menor que la temperatura especificada por el  
 fabricante del motor para el aire de salida del turbo máxima. El aire de salida del turbo puede estar a una  
 temperatura menor que la temperatura mínima especificada para el aire de salida del turbo, pero es apropiado para  
 la admisión de aire sin condensado. El intercambiador 534 de calor de aire de salida del turbo, el enfriador 540 de  
 aire de salida del turbo refrigerado por aire, y el separador 544 de agua deben tener todos ellos un diseño de baja  
 pérdida de carga, de modo que la inclusión de los componentes adicionales no exceda la pérdida de carga máxima  
 especificada por el fabricante del motor para el circuito de aire de salida del turbo.

Cuando el motor está funcionando, el escape del motor está transmitiendo calor de manera continua al circuito de  
 refrigerante del vaporizador sin combustión en el intercambiador 522 de calor de escape del motor. Para limitar la  
 transmisión de calor desde el gas de escape al refrigerante no son necesarias provisiones directas, pero los  
 tamaños del radiador 610 y del ventilador de refrigeración del motor (no mostrados) se deben incrementar para  
 compensar el calor adicional que el refrigerante debe disipar cuando el vaporizador 412 de refrigerante no está  
 transmitiendo el calor a la corriente de nitrógeno.

La porción dividida del flujo de refrigerante en el conducto 502 que es enviada al intercambiador 504 de calor del  
 aceite extraerá calor del circuito de aceite si la temperatura del circuito de refrigerante es menor que la temperatura  
 máxima permisible de funcionamiento del aceite. El conducto 506 representa una parte de baja presión de una línea  
 de retorno del circuito de aceite hidráulico o de lubricación. El flujo de aceite se divide (en porciones divididas) entre  
 el conducto 508 que conduce al intercambiador 504 de calor del aceite y el conducto 512 que no pasa por el  
 intercambiador 504 de calor del aceite. El aceite sale del intercambiador 504 de calor del aceite a través del  
 conducto 510 y se une a la corriente 512 de derivación del intercambiador de calor en el interior de la válvula 514

termostática. Esta válvula 514 termostática preferentemente desvía aceite frío haciendo que no pase por el intercambiador 504 de calor del aceite para impedir una alta viscosidad del aceite si la temperatura del circuito de refrigerante es menor que la temperatura de funcionamiento mínima deseada del circuito de aceite hidráulico o de lubricación. Un valor de configuración de temperatura apropiado para la válvula 514 termostática sería aproximadamente 110° F (43° C). El aceite mezclado sale de la válvula 514 termostática a través del conducto 516 y es dividido de nuevo para el enfriador 520 de aceite por medio de conductos 518 y 524. El enfriador 520 de aceite puede ser un enfriador con aletas que disipará calor a la atmósfera por circulación de aire natural o forzada, y es necesario cuando la temperatura del circuito de refrigerante es mayor que la temperatura de funcionamiento máxima permisible del aceite. El conducto 518 envía aceite al enfriador 520 de aceite, y el conducto 524 deriva aceite directamente a la válvula 526 termostática. El aceite refrigerado sale del enfriador de aceite a través del conducto 522 y se mezcla con la corriente 524 de aceite de derivación en el interior de la válvula 526 termostática. Un valor de configuración de temperatura apropiado para la válvula 526 termostática puede ser aproximadamente 150° F (65° C). La corriente 528 de aceite refrigerado vuelve al depósito de aceite para los circuitos de aceite de lubricación, los circuitos hidráulicos de bucle abierto, y las conducciones hidráulicas de drenaje de la caja de bucle cerrado. El intercambiador 504 de calor del aceite, el enfriador 520 de aceite, los termostatos 514, 526, y las tuberías de interconexión se pueden implementar en sistemas hidráulicos tanto de bucle abierto como de bucle cerrado.

El refrigerante procedente del intercambiador 552 de calor de escape del motor del conducto 558 se une con la corriente 530 de refrigerante procedente del enfriador 504 de aceite. El refrigerante combinado continúa hacia el intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión a través del conducto 560. El gas de combustión caliente puede estar a una temperatura de hasta 800° F (427° C) después de transmitir calor en el interior del intercambiador 436 de calor del vaporizador de combustión. El caudal de gas de combustión depende del diseño concreto del vaporizador, pero es de aproximadamente 9.000 pies cúbicos por minuto (255 metros cúbicos por minuto) para un vaporizador de combustión modelo 660K de la empresa Airco. El gran caudal de gas de combustión y su temperatura potencialmente alta pueden transmitir una enorme cantidad de calor al circuito de refrigerante que no se puede disipar a través del radiador, y que se debe desviar para que no pase por el intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión en algunas condiciones de funcionamiento para evitar sobrecalentar el motor o llevar a ebullición al refrigerante dentro de los tubos intercambiadores de calor. Se envía gas de combustión a través del conducto 564 hasta el desviador 566 de escape del vaporizador de combustión. Cuando es necesario, el desviador 566 de escape del vaporizador de combustión descarga una porción de la corriente de gas de combustión, o toda esa corriente, directamente a la atmósfera por medio del conducto 568. En caso contrario, el desviador 566 de escape del vaporizador de combustión envía el gas de combustión a través del conducto 570 hacia el intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión, y a continuación lo descarga a la atmósfera por medio del conducto 572. El desviador 566 de escape del vaporizador de combustión es un mecanismo proporcional que recibe una señal 600 procedente del controlador 596 de temperatura del refrigerante. El desviador 566 de escape del vaporizador de combustión puede cambiar la dirección del gas de escape por encima de un rango de temperatura de 165° F (74° C) a 175° F (79° C), el cual está por debajo de la temperatura de los termostatos de los motores diésel modernos típicos.

El refrigerante procedente del intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión es introducido en el intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación siempre que esté funcionando el dispositivo de bombeo híbrido. Cuando se suministra vapor de agua a través del conducto 580, la válvula 582 de control del vapor de agua controla el caudal de vapor de agua que fluye a través de la tubería 584 hacia el interior de la carcasa del intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación. En el interior del intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación, se licua vapor de agua sobre los tubos de refrigerante y fluye por gravedad hacia el fondo del intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación, donde el condensado de vapor de agua se descarga a través del conducto 586 a una trampa de vapor de agua (no mostrada), en la cual se extrae el condensado, pero se conserva el vapor de agua. La presión del vapor de agua en el interior del intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación es el control primario sobre la potencia calorífica transmitida al circuito de refrigerante. La válvula 582 de control de vapor de agua recibe una señal 602 procedente del controlador 596 de temperatura del refrigerante. El refrigerante calentado sale del intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación y es transferido a través del conducto 588 al vaporizador 412 del refrigerante. Cuando el nitrógeno líquido criogénico está fluyendo hacia el vaporizador 412 de refrigerante, el refrigerante transmite calor a través de los tubos de alta presión a la corriente de nitrógeno.

El refrigerante que sale del vaporizador 412 de refrigerante fluye a través del conducto 590 donde la temperatura es monitorizada por el sensor 592 de temperatura de refrigerante. Este sensor de temperatura envía la señal 594 al controlador 596 de temperatura del refrigerante. Cuando la temperatura del refrigerante alcanza la temperatura mínima permisible de funcionamiento de entre 40° F (4° C) y 50° F (10° C), el controlador 596 cambia la señal 598 enviada a la válvula 408 de control del nitrógeno del vaporizador de refrigerante para reducir el flujo de nitrógeno que pasa a través del vaporizador 412 de refrigerante para limitar el calor extraído del circuito de refrigerante. Cuando la temperatura del refrigerante se aproxima a la temperatura de funcionamiento máxima permisible de entre 165° F (74° C) y 175° F (79° C), el controlador 596 ajusta la señal 600 enviada al desviador 566 de escape del vaporizador de combustión para reducir el flujo de gas de escape enviado al intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión, y el controlador 596 ajusta la señal 602 enviada a la válvula 582 de control del vapor de

agua para reducir el flujo de vapor de agua que entra en el intercambiador 578 de calor de vapor de agua de condensación, limitando de esta manera el calor transmitido al refrigerante. El refrigerante procedente del conducto 590 continúa hacia la válvula 604 termostática de refrigerante. Esta válvula 604 termostática de refrigerante se debería configurar a una temperatura de aproximadamente 175° F (79° C), la cual es ligeramente menor que la temperatura a la cual se abre el termostato del motor diésel, pero no tan baja que reduzca el flujo de calor transmitido en el vaporizador 412 de refrigerante. La válvula 604 termostática de refrigerante envía refrigerante frío a una corriente 606 de derivación del radiador. Cuando aumenta la temperatura del refrigerante, la válvula 604 termostática de refrigerante envía refrigerante a través del conducto 608 hacia el radiador 610. El radiador provisto de una unidad de alimentación de motor diésel estándar no tiene una capacidad nominal suficiente para las cargas de calor adicionales procedentes de la corriente 544 de escape del motor, ni para las procedentes de la corriente 536 de aire de salida del turbo, cuando el calor no se puede usar para vaporizar nitrógeno en el vaporizador 412 de refrigerante. El radiador 610 en el circuito de refrigerante se debe diseñar para que acepte estas cargas térmicas además del valor nominal de disipación de calor normal del motor. La corriente 612 de refrigerante procedente del radiador 610 y la corriente 606 de derivación del radiador fluyen al interior del colector 614 de refrigerante. El flujo primario procedente del colector 614 de refrigerante se transfiere al colector 616 del depósito de refrigerante el cual están en comunicación con el depósito 620 de refrigerante a través del conducto 618. El flujo primario continúa a través del conducto 622 donde una corriente 624 de refrigerante caliente procedente del termostato 638 del motor entra y se mezcla en el conducto 642 de aspiración de la bomba de circulación de refrigerante.

A medida que refrigerante procedente del termostato 638 del motor es enviado por medio del conducto 624 hacia la aspiración 642 de la bomba de circulación de refrigerante, se intercambia refrigerante desde del colector 614 de refrigerante del enfriador y desde la corriente 612 del radiador y se introduce en el conducto 626, donde el refrigerante se mezcla con refrigerante 640 derivado del motor más caliente procedente del termostato 638 del motor y entra en el conducto 628 de aspiración de la bomba 630 de refrigerante del motor. La bomba 630 de refrigerante del motor incrementa la presión del refrigerante en el conducto 632 que conduce a los sistemas de refrigeración del motor combinados representados por el bloque 634.

La bomba 494 del circuito de refrigerante del vaporizador se prefiere para hacer circular refrigerante a un caudal mayor que el proporcionado por la bomba 630 de refrigerante del motor para impedir que refrigerante procedente del termostato 638 del motor evite pasar por el vaporizador de refrigerante y el radiador del motor, fluyendo de forma consecutiva a través de los conductos 624, 622, 616, 614, y 626. Un ejemplo de equipo de este tipo que utiliza un motor diésel John Deere 6135HF485 con una capacidad de la bomba 630 de refrigerante del motor de 150 galones por minuto (568 litros por minuto) haría circular refrigerante a través del circuito del vaporizador desde la bomba 494 a un caudal de 200 galones por minuto (757 litros por minuto).

Un ejemplo de un vaporizador de combustión que se puede diseñar con un desviador 566 de escape del vaporizador, un intercambiador 562 de calor de escape del vaporizador de combustión, y un controlador 470 de automatización del vaporizador con elementos de control asociados es un vaporizador Airco/Cryoquip modelo 660K con un ventilador de velocidad fija y tres válvulas 454 de solenoide de combustible en paralelo, alimentando cada una de las válvulas de solenoide a dos boquillas de pulverización por presión.

## EJEMPLOS

Se construyó un dispositivo de bombeo híbrido con un proceso de nitrógeno y un sistema de control ilustrado en la Figura 4, pero con un diseño de circuito de refrigerante sin combustión ilustrado en la Figura 3. La unidad de alimentación de motor diésel utilizada fue una John Deere 13,5L mdl 6135HF485 con una potencia nominal de 450 hp (336 kW). La bomba de émbolo criogénica triple de desplazamiento positivo utilizada fue una Paul/Airco/ACD modelo 3-LMPD con una carrera de 2 pulgadas (50,8 mm) y extremos fríos con cilindro de 2 pulgadas (50,8 mm) de diámetro. La potencia del motor se transmitía a la bomba triple a través de una transmisión manual de automoción Eaton Fuller RTO-11909MLL. El vaporizador de combustión es un vaporizador Airco/Cryoquip modelo 660K.

Durante la fabricación se realizaron ensayos de funcionamiento en cuatro escenarios de caudal de descarga de nitrógeno, temperatura y presión. El primer escenario de ensayo se realizó con un caudal de nitrógeno de 216.000 pies cúbicos por hora medidos en condiciones estándar (6.116 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) en condiciones de descarga de 65 °F (18 °C) y 2.900 psi (200 bar). El segundo escenario de ensayo se realizó a 231.000 SCFH (6.541 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) con descarga a 70° F (21° C) y 600 psi (41,4 bar). Con resultado sorprendente, los caudales de consumo de combustible del vaporizador de combustión respectivos fueron 15 galones por hora (56,8 L/hr) y 23 galones por hora (87,1 L/hr). Los consumos de combustible estimados de un vaporizador Airco/Cryoquip 660K para conseguir las mismas condiciones sin la configuración de vaporizador de la bomba de nitrógeno híbrido son 28 galones por hora (106 L/hr) y 34 galones por hora (128,7 L/hr) respectivamente. Incluyendo el consumo de combustible estimado de un motor Detroit Diesel 8V-92T, a la configuración de vaporizador se le pueden atribuir reducciones del 30% y del 24% en el consumo total de combustible del dispositivo de bombeo.

El tercer escenario de ensayo es muy similar al funcionamiento de un dispositivo de bombeo sin combustión convencional funcionando a bajo régimen en que no se utilizó el vaporizador de combustión. Este escenario de

## ES 2 548 507 T3

ensayo proporcionó un caudal de nitrógeno de 68.900 pies cúbicos por hora medidos en condiciones estándar (1.951 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) a una presión de descarga de 270 psi (18,6 bar) y una temperatura de descarga 70° F (21° C). El dispositivo de bombeo híbrido fue capaz de proporcionar las condiciones de nitrógeno sin usar el vaporizador de combustión. En comparación con el consumo estimado de combustible del vaporizador de un vaporizador Airco 660K instalado en un dispositivo de bombeo de combustión convencional, el ahorro de combustible de 11 galones por hora (41,6 L/hr) demuestra la reducción en consumo de combustible que sería necesaria para utilizar el vaporizador Airco 660K de combustión. El consumo de combustible condujo a una reducción de combustible estimada del 58% con respecto a un modelo que predice el consumo de combustible de un vaporizador de combustión con vaporizador Airco 660K y motor Detroit Diesel 8V-92T.

Un cuarto escenario de ensayo se ejecutó con vapor de agua saturado a 70 psi (4,8 bar) suministrado a un intercambiador de calor de vapor de agua de condensación a través de tres mangueras de ¾" (DN 20) paralelas. El dispositivo de bombeo híbrido se hizo funcionar a un caudal de descarga de 111.000 SCFH (3.143 m<sup>3</sup>/hr medidos en condiciones estándar) en condiciones de descarga de 370 psi (25,5 bar) y 100° F (38° C). El vaporizador de combustión no se hizo funcionar en este escenario. El consumo estimado de combustible para un vaporizador Airco 660K para proporcionar las mismas condiciones de descarga es de 18 galones por hora (68,1 L/hr). El uso del intercambiador de calor de vapor de agua de condensación en tándem con calor procedente del motor proporcionó una reducción estimada del 69% en el consumo de combustible con respecto a un dispositivo de bombeo de nitrógeno con un vaporizador Airco 660K y un motor Detroit Diesel 8V-92T.

La siguiente Tabla 1 ilustra datos de los cuatro escenarios:

**Tabla 1**

	<b><u>Escenario #1</u></b>	<b><u>Escenario #2</u></b>	<b><u>Escenario #3</u></b>	<b><u>Escenario #4</u></b>
RPM de la bomba triple	558 rpm	596 rpm	178 rpm	288 rpm
Caudal de nitrógeno estimado basado en una eficiencia volumétrica de la bomba del 85%	216.000 SCFH (6.116 nm <sup>3</sup> /hr)	231.000 SCFH (6.541 nm <sup>3</sup> /hr)	68.900 SCFH (1.951 nm <sup>3</sup> /hr)	111.000 SCFH (3.143 nm <sup>3</sup> /hr)
Temperatura ambiente aproximada	90° F (32° C)	80° F (27° C)	75° F (24° C)	75° F (24° C)
Presión de descarga aproximada de la bomba	2.900 psi (200 bar)	600 psi (41,4 bar)	270 psi (18,6 bar)	370 psi (25,5 bar)
Temperatura de descarga aproximada de la bomba	65° F (18° C)	70° F (21° C)	70° F (21° C)	100 °F (38° C)
Vapor de agua suministrado	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Tres mangueras paralelas de ¾ de pulgada (DN 20) procedentes de una fuente saturada de 70 psi (4,8 bar)
Consumo aproximado de combustible del motor	14 gal/hr (53,0 l/hr)	9 gph (34,1 l/hr)	11 gal/hr (41,6 l/hr)	5 gal/hr (18,9 l/hr)
Consumo estimado de combustible de un vaporizador Airco 660K integrado en un dispositivo de bombeo híbrido	15 gal/hr (56,8 l/hr)	23 gal/hr (87,1 l/hr)	0 gal/hr (0,0 l/hr)	0 gal/hr (0,0 l/hr)
<b>Consumo total aproximado de combustible de un dispositivo de bombeo híbrido</b>	<b>29 gal/hr (109,8 l/hr)</b>	<b>32 gal/hr (121,1 l/hr)</b>	<b>11 gal/hr (41,6 l/hr)</b>	<b>5 gal/hr (18,9 l/hr)</b>

ES 2 548 507 T3

	<u>Escenario #1</u>	<u>Escenario #2</u>	<u>Escenario #3</u>	<u>Escenario #4</u>
Consumo estimado de combustible del motor de un dispositivo de bombeo convencional con vaporizador de combustión	16 gal/hr (60,6 l/hr)	11 gal/hr (41,6 l/hr)	8 gal/hr (30,3 l/hr)	8 gal/hr (30,3 l/hr)
Consumo estimado de combustible de un vaporizador de combustión convencional Airco 660K	28 gal/hr (106 l/hr)	34 gal/hr (128,7 l/hr)	11 gal/hr (41,6 l/hr)	18 gal/gr (68,1 l/hr)
<b>Consumo estimado total de combustible de un dispositivo de bombeo con combustión convencional</b>	<b>44 gal/hr (166,6 l/hr)</b>	<b>45 gal/hr (170,4 l/hr)</b>	<b>19 gal/hr (71,9 i/hr)</b>	<b>26 gal/gr (98,4 l/hr)</b>
Ahorro estimado de combustible debido a la configuración del vaporizador	13 gal/hr (49,2 l/hr)	11 gal/hr (41,6 l/hr)	11 gal/hr (41,6 l/hr)	18 gal/hr (68,1 l/hr)
Reducción estimada en el consumo total de combustible debida a la configuración del vaporizador	30%	24%	58%	69%
(1) Lectura media de la pantalla de visualización del módulo de control electrónico del motor (2) Consumo estimado de combustible basado en correlación de la presión en la tobera de combustible (3) Consumo estimado de combustible del motor basado en datos de ensayos realizados sobre un motor Detroit Diesel 8V-92T. (4) Modelo de consumo estimado de combustible de un vaporizador de combustión convencional basado en datos de ensayos realizados sobre un vaporizador Airco modelo 660K.				

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de bombeo (100), que comprende:
  - 5 a. una fuente (102) criogénica para proporcionar un fluido criogénico para vaporización;
  - b. una bomba (106) criogénica en comunicación de flujo fluido con la fuente (102) criogénica para incrementar la presión del fluido criogénico;
  - c. un circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión en comunicación de flujo fluido con la bomba (106) criogénica y diseñado para aceptar el fluido criogénico y descargar el fluido criogénico como una corriente calentada;
  - 10 d. un vaporizador (114) de combustión directa situado aguas abajo del circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión y en comunicación de flujo fluido con él y diseñado para aceptar la corriente caliente procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar una corriente sobrecalentada; y
  - 15 e. una unidad (118) de alimentación de motor diésel para proporcionar energía a la bomba (106) criogénica, al circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión, y al vaporizador (114) de combustión directa.
  
2. El dispositivo de bombeo de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión comprende un intercambiador (222, 322, 578) de calor de vapor de agua de condensación diseñado para aceptar una corriente (282, 382, 580) de vapor de agua procedente de una fuente externa para un intercambio de calor con el fluido (262, 362, 402) criogénico a través de un refrigerante agua-etilenglicol.
  
- 25 3. Un dispositivo de bombeo (100), que comprende:
  - a. una fuente (102) criogénica para proporcionar un fluido criogénico para vaporización;
  - b. una bomba (106) criogénica en comunicación de flujo fluido con la fuente (102) criogénica para incrementar la presión del fluido criogénico;
  - 30 c. un circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión en comunicación de flujo fluido con la bomba (106) criogénica y diseñado para aceptar el fluido criogénico y descargar el fluido criogénico como una corriente caliente, comprendiendo el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión un intercambiador (222, 322, 578) de calor de vapor de agua de condensación diseñado para aceptar una corriente (282, 382, 580) de vapor de agua procedente de una fuente externa para intercambio de calor con el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión; y
  - 35 d. una unidad (118) de potencia de motor diésel para proporcionar potencia a la bomba criogénica y al circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión.
  
- 40 4. El dispositivo de bombeo de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende además un vaporizador (114) de combustión directa situado aguas abajo y en comunicación de flujo fluido con el circuito (110, 200, 300, 400) de refrigerante del vaporizador sin combustión y diseñado para aceptar la corriente caliente procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para producir una corriente sobrecalentada.
  
- 45 5. El dispositivo de bombeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un intercambiador (218, 318, 562) de calor diseñado para aceptar una corriente (278, 378) de gas de escape procedente del vaporizador (114) de combustión directa y un refrigerante de agua-etilenglicol procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión, en el cual la corriente de gas de escape procedente del vaporizador de combustión directa intercambia calor con el refrigerante de agua-etilenglicol.
  
- 50 6. El dispositivo de bombeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un sistema de control diseñado para controlar la temperatura de al menos el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión.
  
- 55 7. El dispositivo de bombeo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el fluido criogénico es nitrógeno.
  
8. Un proceso para sobrecalentar un fluido criogénico, que comprende:
  - 60 a. proporcionar un fluido criogénico para vaporización;
  - b. presurizar el fluido criogénico;
  - c. entibiar el fluido criogénico presurizado en un circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar un fluido presurizado tibio; y
  - d. seguir calentando el fluido presurizado tibio en un vaporizador de combustión directa situado aguas abajo y en comunicación de flujo fluido con el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para formar una corriente sobrecalentada.
  - 65

9. El proceso de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además el intercambio de calor entre una corriente de gas de escape procedente del vaporizador de combustión directa y un refrigerante de agua-etilenglicol procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para entibiar el refrigerante de agua-etilenglicol.
- 5
10. El proceso de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además el intercambio de calor entre una corriente de vapor de agua procedente de una fuente externa con el refrigerante de agua-etilenglicol para entibiar el refrigerante de agua-etilenglicol.
- 10
11. El proceso de acuerdo con la reivindicación 9 ó 10, en el cual el refrigerante de agua-etilenglicol tibio se utiliza para entibiar el fluido criogénico presurizado.
12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además el intercambio de calor entre una corriente de vapor de agua procedente de una fuente externa y un refrigerante de agua-etilenglicol procedente del circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para entibiar el refrigerante de agua-etilenglicol.
- 15
13. El proceso de acuerdo con la reivindicación 12, en el cual el refrigerante de agua-etilenglicol tibio se utiliza para entibiar el fluido criogénico presurizado.
- 20
14. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, que comprende además monitorizar al menos el circuito de refrigerante del vaporizador sin combustión para controlar la temperatura de un refrigerante de agua-etilenglicol.
15. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, en el cual el fluido criogénico es nitrógeno.

FIG. 1







